

| **La materialidad en la arquitectura del Movimiento Moderno:**

Investigación teórica y constructiva. Análisis de la estructura y cimentación

Carmen Rodríguez Liñán
Rocío Romero Hernández
Enrique Vázquez Vicente
Paloma Rubio de Hita
Filomena Pérez Gálvez
María Jesús Morales Conde
Alejandro Pedreño Rojas
Eduardo Diz Mellado

Resumen

Se han realizado estudios y trabajos encaminados a construir una metodología y pautas de estudio que permitan la evaluación y análisis de la estructura y cimentación de edificios del Movimiento Moderno, como los inmuebles que constituyen la barriada de Nuestra Señora del Carmen de Sevilla.

La caracterización de los materiales, sistemas estructurales y de cimentación, y el análisis de posibles lesiones, defectos y alteraciones, se ha desarrollado metodológicamente mediante la definición de un plan de inspección genérico y su aplicación al caso concreto.

La inspección *in situ* de los diferentes edificios que han sido accesibles se ha llevado a cabo según las pautas y criterios establecidos y se ha materializado en los documentos de inspección definidos.

Aunque es necesaria la realización de ensayos destructivos que permitan definir las características reales de los materiales estructurales, en este caso solo se ha contemplado en el proyecto la realización de ensayos no destructivos –de ultrasonidos, de termografía de infrarrojos, esclerométricos–. De los estudios realizados, que en conjunto constituyen la metodología a aplicar, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

De la planimetría elaborada, que define la estructura y cimentación de los edificios –planos de forjados y de cimientos con los detalles correspondientes–, se puede deducir que es una estructura y cimentación realizada conforme a la buena práctica constructiva y la normativa existente en el momento de su construcción.

De la inspección y los ensayos no destructivos realizados, se concluye que la estructura y cimentación no ha sufrido ningún tipo de reforma desde su construcción y que el estado de conservación de la estructura y cimentación, tanto de los bloques en altura como de los bloques lineales, es bastante bueno. Las únicas lesiones detectadas de manera muy puntual en los bloques lineales son fisuras compatibles con un inicio de oxidación en armaduras en vigas situadas al exterior en zonas comunes. En consecuencia, una reparación de dichas lesiones y un mantenimiento e inspección periódica es adecuado y suficiente.

Por otra parte, del análisis de la documentación disponible, contrastada con las visitas de inspección del edificio y tras realizar algunas comprobaciones conservadoras, puede concluirse que el edificio tiene una capacidad portante adecuada teniendo en cuenta que el estudio se ha realizado de manera somera, con una campaña de ensayos de caracterización de la estructura muy reducida y empleando criterios cualitativos. Por todo ello, se recomienda realizar en el futuro un seguimiento del estado del edificio consistente en visitas de inspección bianuales que, con la ayuda de la documentación recopilada en el presente documento y siguiendo la metodología propuesta, permitan comprobar la inexistencia de nuevas lesiones.

| **The materiality in the architecture of the Modern Movement:**

Theoretical and constructive research: Structural and foundation analysis

Abstract

Different studies and actions were conducted to establish a methodology and research guidelines for evaluating and analysing the structure and foundation of Modern Movement buildings like those comprising the neighbourhood of Nuestra Señora del Carmen in Seville.

Materials, structural systems and foundations were classified and possible damages, flaws and alterations were methodically analysed by drawing up a general inspection plan and applying it to the case at hand.

On-site inspections of the different buildings made available to us were conducted according to established guidelines and criteria and recorded in the prescribed inspection documents.

Although destructive testing is often necessary to determine the true characteristics of structural materials, in the case of this project we only used non-destructive techniques: ultrasound, infrared thermography, Schmidt hammer tests, etc. The following conclusions can be drawn from the studies conducted, which in conjunction comprise the applicable methodology:

From the various technical drawings of the buildings' structure and foundations (plans of floors and foundations with their corresponding details), we deduce that the structure and foundations conformed to good building practices and regulatory codes in force at the time of construction.

From the inspections and non-destructive tests, we conclude that the structure and foundations have not been altered since the time of construction and are in fairly good condition, in both the tower and terraced blocks. The only signs of damage detected are isolated fissures on the terraced blocks, compatible with incipient oxidation on structural beams located on the outside of the buildings in common areas. Consequently, repairing said damages and establishing a schedule of periodic maintenance and inspection is deemed to be adequate and sufficient.

From the study of available documentation, compared and contrasted with information gleaned from site inspections and several conservative tests, we concluded that the building has an adequate load-bearing capacity, bearing in mind that this conclusion is based on a superficial study involving a very limited range of structural tests and using qualitative criteria. In light of all this, we recommend that the building's condition be monitored in future by conducting biannual inspections which, aided by the documentation compiled in this document and following the proposed methodology, should detect any new damage that might appear.

1. Proyecto de la Obra Sindical del Hogar y arquitectura de 600 viviendas en renta limitada correspondientes al plan 1957-58 de Sevilla. Edificio de los Diez Mandamientos, Luis Recasens Méndez-Queipo de Llano.

Introducción e hipótesis de partida

Con carácter general, los estudios y trabajos realizados van encaminados a construir una metodología y criterios de análisis de la estructura del modelo de estudio. Todo ello se aborda mediante el estudio y análisis de la documentación existente, así como del estudio de documentación sobre obras similares del mismo periodo o autor.

La caracterización de los materiales, sistemas estructurales y de cimentación, y el análisis de posibles lesiones, defectos y alteraciones, se ha desarrollado metodológicamente mediante la definición de un plan de inspección genérico y su aplicación al caso concreto.

La inspección *in situ* para los diferentes edificios que han sido accesibles se ha llevado a cabo según las pautas y criterios establecidos y se ha materializado en los documentos de inspección definidos.

Aunque la realización de ensayos destructivos que permitan definir las características reales de los materiales estructurales es necesaria, en este caso solo se ha contemplado en el proyecto la realización de ensayos no destructivos. Por tanto, el estudio y modelos de cálculo realizados tienen el valor de servir de ejemplo para otros casos con valores cuantitativos de los materiales, y las conclusiones obtenidas respecto al estado de la estructura tienen un carácter genérico, ya que están basadas en las inspecciones organolépticas y en los ensayos no destructivos realizados.

Documentación existente sobre la estructura y cimentación

En el trabajo se recoge toda la información localizada del proyecto original. Debido a la poca información obtenida de los documentos localizados de dicho proyecto, se han analizado proyectos contemporáneos del mismo autor en la ciudad de Sevilla, concretamente el proyecto del edificio de los Diez Mandamientos¹. A partir de esta documentación, se realizó un análisis comparativo de esta planimetría con la del proyecto a estudiar, que ha permitido completar la caracterización constructiva y de materiales.

Otros documentos fundamentales han sido los informes y proyectos de reparación (REDONDO, 1992; REDONDO y TAVIEL, 1995) del edificio de los Diez Mandamientos. Al no existir en la documentación del proyecto un estudio geotécnico, se han localizado mapas geotécnicos y otros estudios de esta materia de obras próximas a la parcela donde se ubica la barriada de El Carmen, objeto de nuestro trabajo.

Ficha 1.2.2	Descripción de la edificación: estructura	DATOS GRÁFICOS
Vigas	ESTRUCTURA HORIZONTAL	<div>Croquis/Fotografía</div> <div></div>
	Tipología	
	Materiales	
	Datos constructivos	
Vigas	Otros comentarios	Lesión en edificio Diez Mandamientos

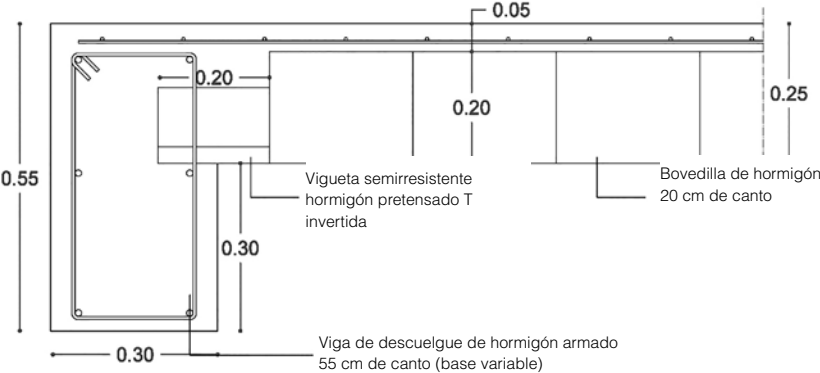
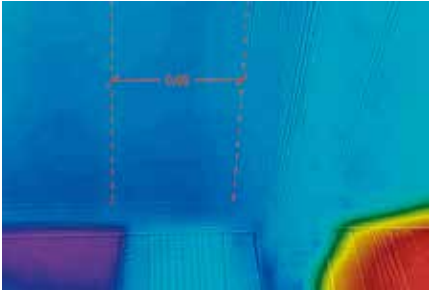
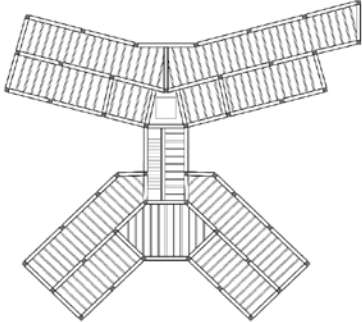
También, para un correcto análisis y evaluación de la estructura y cimentación, además de tener en cuenta la normativa vigente en la actualidad, se ha analizado de manera exhaustiva la normativa vigente en el momento de su construcción.

Bloque lineal. Vigas

Elaboración del plan de inspección in situ

En el caso del presente trabajo se utilizan como elementos básicos de referencia las normas *UNE 41805-4 IN Diagnóstico de edificios* y *UNE 41805-4 IN Estudio patológico de la estructura del edificio. Terreno y cimentación*, y el *Manual de inspección técnica de edificios*, aplicados a la inspección de los bloques tipos torre y lineal de la barriada de El Carmen de Sevilla.

Para la materialización del trabajo de inspección se incluyen anejos con las fichas de análisis y recogida de datos que se han elaborado para las distintas etapas. Estas fichas son particularizadas para los bloques elegidos (bloque tipo torre y bloque lineal) de la barriada de El Carmen (plano de situación de bloques inspeccionados), una vez que fueron seleccionados por el IAPH y por los autores del trabajo.

Ficha 1.2.3	Descripción de la edificación: estructura		DATOS GRÁFICOS
Viguetas	FORJADOS		<p>Detalle</p> 
	<p>Tipología Viguetas Semirresistentes Secciones: T invertida y Cuerpo prismático</p> <p>Materiales Hormigón pretensado HM: 150 kg/m³</p>		
	<p>Datos constructivos HA: 350 kg/m³ HM: 150 kg/m³</p>		
	<p>Otros comentarios Intereje medido en termografía de 60 cm Estimación: bovedillas 20 cm + capa de compresión 5 cm Bovedillas de hormigón de 22 cm de canto + capa de compresión</p>		
Losas	Tipología	Materiales	<p>Croquis/Fotografía</p>  <p>Vivienda plaza de Riofrío, 6, bajo - C</p>
	Datos constructivos		
	Otros comentarios		
Placas	Tipología	Materiales	<p>Planimetría</p> 
	Datos constructivos		
	Otros comentarios		

| Bloque lineal. Forjados



| Localización de bloques inspeccionados

2. Pueden consultarse en: [http://www.juntadeandalucia.es/fomentoyvivienda/No doIDE/Visualizadores/geotecnico/]

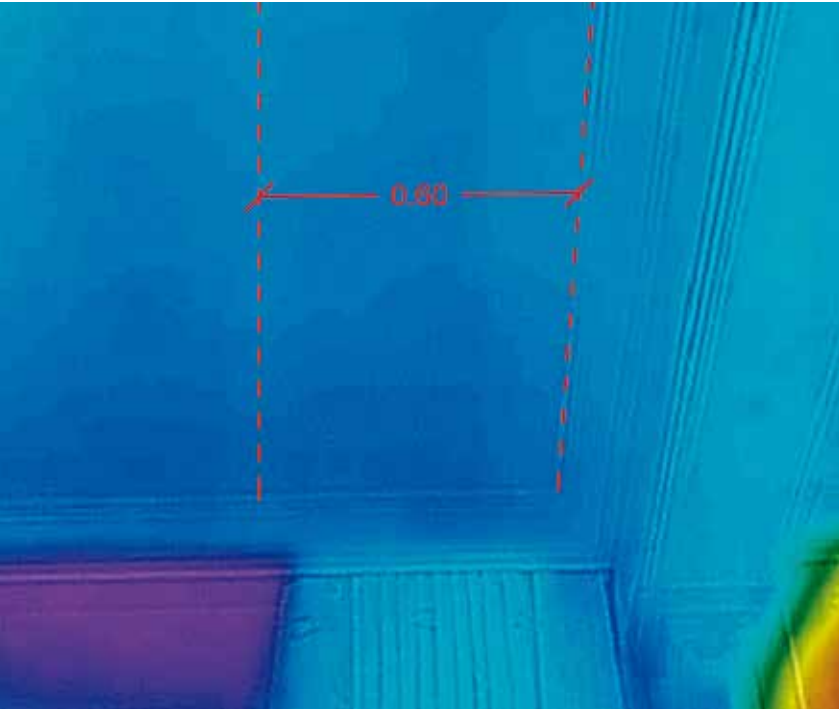
Fases de la inspección

Con carácter general, se han distinguido cuatro etapas diferenciadas en el Plan de inspección: 1. Trabajos previos; 2. Selección de unidades y elementos objeto de inspección; 3. Realización de la inspección (Toma de datos: caracterización constructiva y de lesiones; Toma de datos: Ensayos); 4. Informe final: Evaluación de la estructura y la cimentación.

Realización de ensayos no destructivos

En el presente trabajo no se ha prescrito ninguna partida para ensayos destructivos, por lo que se ha realizado el estudio mediante ensayos no destructivos, de los que se han obtenido resultados cualitativos para el análisis de la estructura y sus materiales. Los ensayos llevados a cabo han sido: acelerómetro, termografías, pachómetro (localización de armaduras), ultrasonidos y esclerómetros. Las pruebas de acelerómetro y termográficas se han realizado en el bloque tipo torre, mientras que las de ultrasonidos, pachómetro y esclerómetros solo se han podido utilizar en los bloques lineales, concretamente en los voladizos de hormigón de las fachadas en la entrada de los bloques.

Termografía en plaza de Riofrío, 6. Forjados



Caracterización de materiales estructurales según documentación, bibliografía existente y ensayos

Hormigón: La estimación de parámetros resistentes se ha realizado teniendo en cuenta los datos obtenidos del informe y proyecto de reparación del conjunto residencial de los Diez Mandamientos (REDONDO, 1992; REDONDO y TAVIEL, 1995), donde existen los siguientes datos sobre la dosificación del hormigón:

Hormigón en masa: 150 kg/m³ (1,5 kN/m³); hormigón armado: 350 kg/m³ (3,5 kN/m³). Con dichos valores de dosificación se han asignado los valores de resistencia teórica del hormigón según la tabla 3.13 de Jiménez Montoya (JIMÉNEZ, GARCÍA y MORÁN, 1991), siendo la resistencia característica según esta tabla de 175 kp/cm² (H-175).

Por otra parte, los resultados de los ensayos realizados determinan que es hormigón de buena calidad según la escala asociada al ensayo de ultrasonidos. Del ensayo de esclerómetro realizado en los bloques lineales también se deduce un comportamiento uniforme y de calidad del hormigón.

Acero: Se han estimado los valores a partir del informe de reparación del edificio de los Diez Mandamientos, siendo el límite elástico f_{yk} 2500 kp/cm² (250 N/mm²).

Resultado de ensayo de ultrasonidos en calle Jarama, 17

Ensayo ultrasonidos Identificación edificatoria: calle Jarama, 17 Fecha 22/02/2018					
	Ensayo nº JR17	Coordenadas	Canto (cm)	Tiempo (µs)	Velocidad (m/s)
	Nº: JR17.1.1	dx1= 87 dy1= 27	9	20,6	4368
	Nº: JR17.1.2	dx2= 87 dy2= 27	9	22,2	4054
	Nº: JR17.1.3	dx3= 64 dy3= 18	8	20,2	3960
	Nº: JR17.1.4	dx1= 64 dy1= 65	10,5	52,4	2003
	Nº: JR17.1.5	dx2= 64 dy2= 62	10,2	68,4	1530
	Nº: JR17.1.6	dx3= 54 dy3= 18	8	34,5	2318
	Nº: JR17.1.7	dx1= 15 dy1= 15	8	20,6	3921
	Nº: JR17.1.8	dx2= 30 dy2= 15	8	23,7	3463
	Nº: JR17.1.9	dx3= 50 dy3= 15	8	20,3	3872

Ladrillo: No se obtienen datos de la documentación analizada. No obstante, se han podido extraer cuatro muestras de ladrillos procedentes de materiales de derribo de algunas obras de mejora en las viviendas de la barriada. El ensayo de dichos ladrillos nos ha permitido estimar una resistencia a compresión de la fábrica $f_k = 8-4,4 \text{ N/mm}^2$.

Cálculos				
	CC	SC	Total	
Carga total lineal en la base del tramo 5 (kn/m)				
Carga total lineal en la base del tramo 4 (kn/m)	42,11	2,49	44,60	
Carga total lineal en la base del tramo 3 (kn/m)	72,39	9,96	82,35	
Carga total lineal en la base del tramo 2 (kn/m)	102,68	17,42	120,10	
Carga total lineal en la base del tramo 1 (kn/m)	132,96	24,89	157,85	

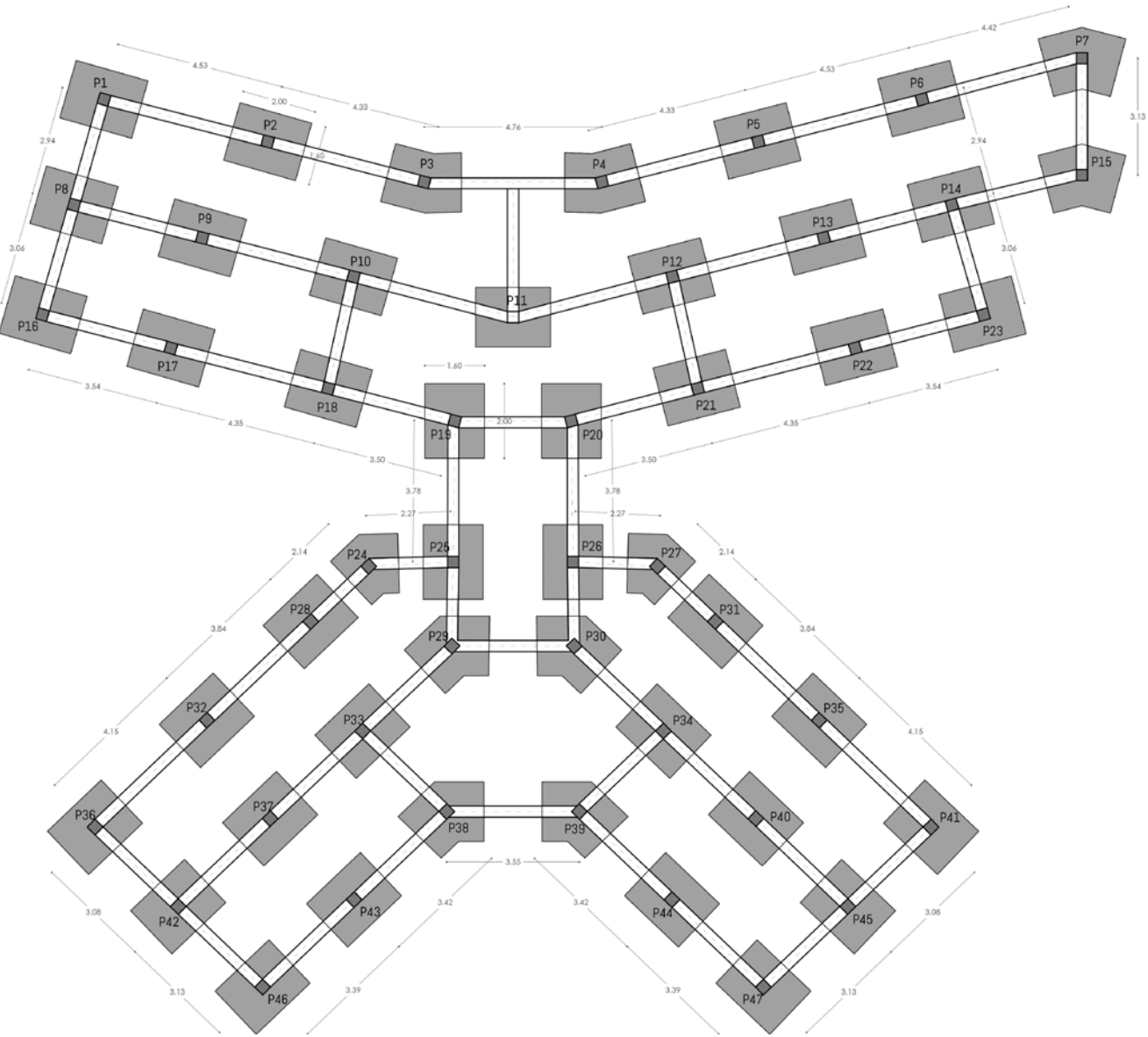
Resultados				
	CC	SC	Total	
Tensión en la base del tramo 5 (kn/m²)				
Tensión en la base del tramo 4 (kn/m²)	107,97	6,38	114,35	normal
Tensión en la base del tramo 3 (kn/m²)	185,62	25,53	211,15	normal
Tensión en la base del tramo 2 (kn/m²)	263,27	44,67	307,95	normal
Tensión en la base del tramo 1 (kn/m²)	340,93	63,82	404,74	normal

Entrada de datos			
Tipo de muro	Muro exterior		
Nº de tramos <i>ver gráfico anexo</i>	4		
Longitud del muro (m)	4,2		
Luz de cálculo (m) <i>ver gráfico anexo</i>	L1	–	
	2,8		
Material del muro	Ladrillo macizo, perforado		
Peso propio del muro (kn/m³) <i>ver tabla anexa</i>	18		
Peso propio del forjado (kn/m²)	3,8		

Sobrecarga de uso en el tramo (kn/m²)	T1	T2	T3	T4	-
Espesor del muro en el tramo (m)	2,4	2,4	2,4	0,8	-
	e1	e2	e3	e4	
	0,390	0,390	0,390	0,390	
Altura en el tramo (m)	h1	h2	h3	h4	-
	2,63	2,63	2,63	2,63	
Área de huecos en el tramo (%)	T1	T2	T3	T4	-
	10	10	10	10	
Longitud de huecos en el tramo (%)	T1	T2	T3	T4	-
	10	10	10	10	

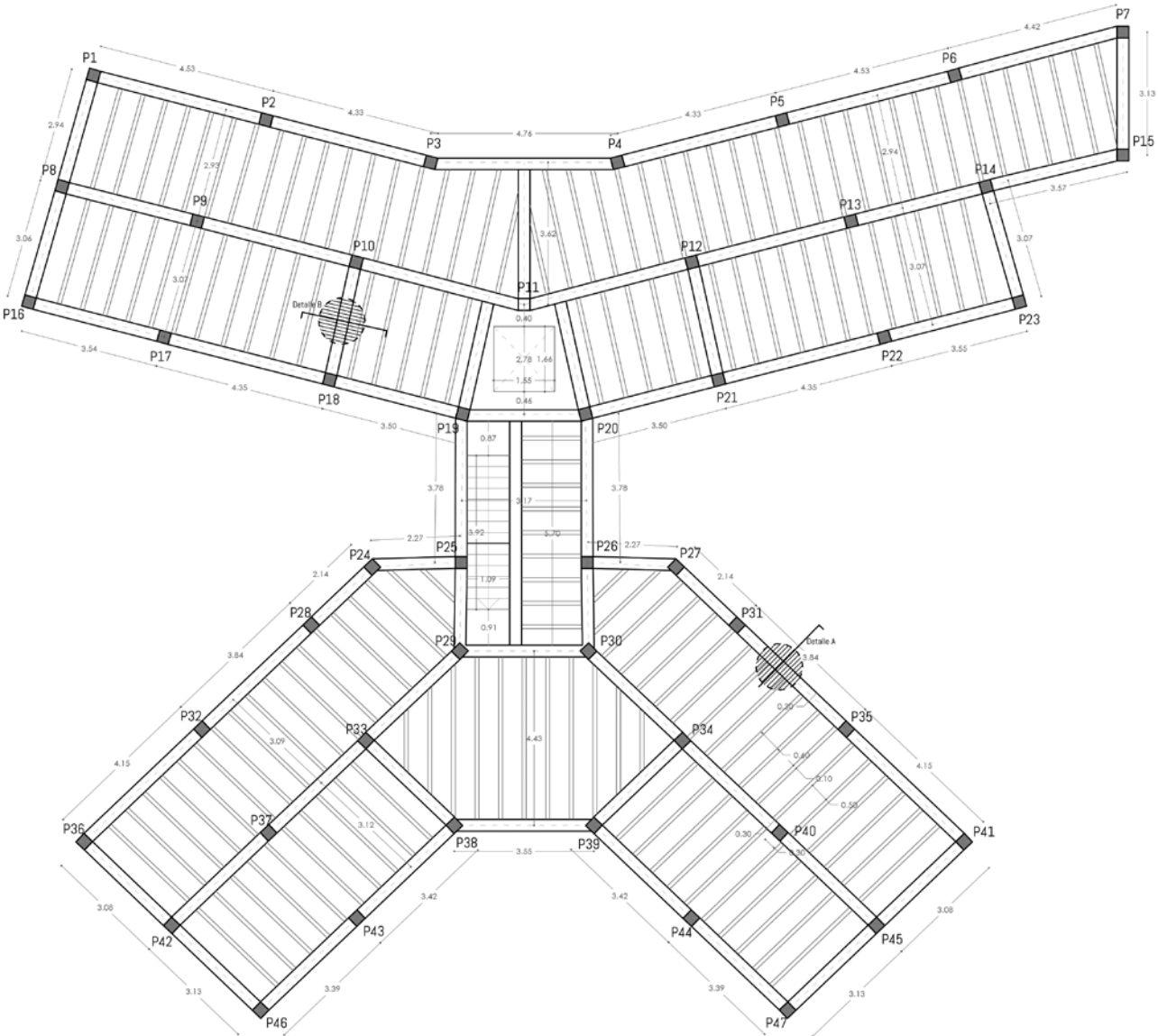
Elaboración de material gráfico. Resumen del estado actual

El proceso seguido ha sido la reelaboración de los planos existentes con la documentación aportada y contrastada *in situ*, teniendo en cuenta aquellas modificaciones que se han apreciado respecto a los originales durante la inspección.



Paralelamente, la caracterización de la estructura y cimentación se ha materializado en el dibujo de los planos de forjados (no existentes en la documentación original) y en los planos de cimientos con los detalles necesarios para su correcta definición. Se han dibujado teniendo en cuenta medidas realizadas y datos aportados por los ensayos *in situ*, como la termografía de infrarrojos. También se han utilizado detalles y fotografías contenidas en la documentación e informaciones sobre obras menores realizadas en los bloques lineales.

Bloque torre. Forjado



Estado de conservación. Análisis de defectos, lesiones y sus causas

Bloques en altura

Viviendas y exteriores: No se han apreciado lesiones en los elementos estructurales o asociadas a ellos. Tampoco existen lesiones visibles que puedan ser vinculadas a asientos o deformación de los cimientos.

Vestíbulos y cajas de escaleras: Solo hay que reseñar la existencia de fisuras en alguna tabiquería y alguna solería suelta o rota. Daños que no están asociados a ninguna lesión estructural de importancia.

Bloque torre. Paredes y falsos techos

ESTRUCTURA VESTÍBULOS Y ESCALERAS						
Ficha 3.02 D Vestíbulos y escaleras Identificación nº: Bloques tipo torre, plaza de Riofrío, 6 y 7						
Elemento a inspeccionar nº	Lesiones	Localización de la lesión		Descripción de la lesión	Ensayos	
		nº de la lesión	nº de la imagen		In situ	En laboratorio
Paredes y falsos techos	Fisuras [Ficha 7.03. Protocolo ITE, anejo II.4, parte 2] [Tabla 2.3. UNE 41805-5:2009 IN]				1. Ultrasonidos, 2. Esclerómetro, 3. Pachómetro, 4. Nivelaciones	1. Toma de muestras, 2. Resistencia a compresión del hormigón, 3. Resistencia a tracción del acero, 4. Test de Fenolftaleína, Recálculo 5. Test de Oxina
	Grietas [Ficha 7.03. Protocolo ITE, anejo II.4, parte 2] [Tabla 2.3. UNE 41805-5:2009 IN]				NO ACCESIBLE ESTRUCTURA	NO SE HAN REALIZADO ENSAYOS
	Manchas de humedad [Fichas 3.03; 3.04. Protocolo ITE, anejo II.4, parte 2]	Filtración				
		Condensación				
		Accidental				
		Capilaridad				

Bloques lineales

Viviendas y exteriores: No se han apreciado lesiones en los elementos estructurales o cimientos ni asociadas a ellos.

Vestíbulos y cajas de escaleras: Existen (en algunos casos y de manera puntual) lesiones consistentes en manchas de humedad, desprendimientos de pinturas y deterioro de ladrillos en los muros de cerramiento y carga de formación de las cajas de escalera, como consecuencia de fugas de instalaciones antiguas de los locales húmedos. La mayoría de las fugas origen de las lesiones se han reparado, quedando solo la huella del daño producido.

| Bloque lineal. Vigas

ESTRUCTURA VESTÍBULOS Y ESCALERAS							
Ficha 3.02 B Vestíbulos y escaleras Identificación nº: Bloques lineales calles Jarama, 17, 20, 21, Bidasoa, 28, 29, 30							
Elemento a inspeccionar nº	Lesiones		Localización de la lesión		Descripción de la lesión	Ensayos	
			nº de la lesión	nº de la imagen		In situ	En laboratorio
Vigas de hormigón	Fisuras [Tabla 2.1. UNE 41805-6:2009 IN]	Transversales				1. Ultrasonidos, 2. Esclerómetro, 3. Pachómetro, 4. Nivelaciones	1. Toma de muestras, 2. Resistencia a compresión del hormigón, 3. Resistencia a tracción del acero, 4. Test de Fenolftaleína, Recálculo 5. Test de Oxina
		Longitudinales					
		Inclinadas					
	Grietas [Fichas 2.02; 2.03. Protocolo ITE, anejo II.4, parte 1]					NO ACCESIBLE ESTRUCTURA	NO SE HAN REALIZADO ENSAYOS
	Flecha excesiva [Ficha 2.19. Protocolo ITE, anejo II.4, parte 1]						
	Desprendimientos [Tabla 1.1 UNE 41805-6:2009 IN]						
	Disgregaciones [Fichas 2.21; 2.22. Protocolo ITE, anejo II.4, parte 1]						
	Manchas de óxido [Tabla 1.1 UNE 41805-6:2009 IN]	En armaduras					
		En perfiles					
	Corrosiones [Tabla 1.1 UNE 41805-6:2009 IN]	En armaduras					
		En perfiles					
	Alteraciones de color [Fichas 2.21; 2.22. Protocolo ITE, anejo II.4, parte 1]						
	Manchas [Fichas 2.21; 2.22. Protocolo ITE, anejo II.4, parte 1]						

En los bloques en los que se ha mantenido la tipología original con caja de escalera abierta al exterior, existen lesiones de fisuración en vigas de descuelgue en fachada que son compatibles con carbonatación del recubrimiento de armaduras e inicio de oxidación-corrosión. No es una lesión en estado avanzado.

Modelos estructurales y comprobaciones realizadas

En la campaña de ensayos realizada sobre la estructura de los edificios no se incluían ensayos destructivos, por lo que el análisis y evaluación de la estructura realizado en el presente trabajo corresponde con una evaluación cualitativa de la estructura y cimentación. Para ello se han tenido en cuenta las condiciones establecidas en el anejo D «Evaluación estructural de edificios existentes» del CTE-DB-SE.

No obstante, se han realizado una serie de comprobaciones numéricas sobre algunos elementos de los cuales no se conoce su armado y que tendrían, por tanto, el carácter de ejemplo. Estos cálculos nos aportan una información aproximada de los coeficientes de seguridad.

Comprobación de cimientos

El edificio está cimentado mediante zapatas aisladas y pozos de cimentación, con vigas riostras como elementos de atado de la estructura. Las dimensiones de las mismas y la cota de apoyo de la cimentación las hemos obtenido de las secciones incluidas en los planos de proyecto.

Mapas y estudios geotécnicos

Al no existir en la documentación localizada del proyecto de la barriada de El Carmen ningún estudio geotécnico, se han localizado mapas geotécnicos existentes de la ciudad de Sevilla y estudios geotécnicos de obras próximas a la parcela donde se ubica la barriada. La documentación localizada y analizada es la siguiente: mapa geotécnico contenido en el anejo 1.2 del protocolo ITE (HUETE *et al.*, 2005) y datos geotécnicos del colegio San José de Calasanz².

Definición del terreno existente

De conformidad con lo indicado, el corte de terreno considerado es el siguiente: tres metros de rellenos, justo en los que se evita la cimentación; posteriormente existe una arcilla media-firme, que tiene una resistencia a compresión simple q_u de 100 a 200 kPa, en la cual se realiza el desplante de la cimentación. Para esta capa hemos considerado las siguientes características: $\gamma =$

2. Pueden consultarse en: [http://www.juntadeandalucia.es/fomentoyvivienda/No doIDE/Visualizadores/geotecnico/]

20kN/m³, $\gamma_{\text{sat}} = 22\text{kN/m}^3$, $\Phi' = 22^\circ$, $c' = 20\text{ kPa}$, $E' = 13.000\text{ kN/m}^2$ y $E_u = 40.000\text{ kN/m}^2$. Además, en la cota -5.00 se encuentra el nivel freático, que no influye en la cimentación elegida; a continuación, una capa de terreno de bastante espesor, 13 metros de arenas (floja), con un valor de los ensayos de penetración estándar NSPT de 0-10, $E' = 8.000\text{ kN/m}^2$. Posteriormente se encuentran las zahorras, las margas que en este caso no son relevantes.

Comprobaciones

La cimentación está resuelta, según la planimetría, mediante zapatas aisladas sobre dados de hormigón pobre de 2 x 1.60 metros en el caso de la tipología de torre, y 1 x 1.20 metros en los bloques lineales, por lo que se pueden realizar las siguientes comprobaciones.

Comprobaciones ELU

Las comprobaciones de estado límite último se recogen en el apartado 4.2.2.1 del CTE-DB-SE-C. Para dicho cálculo se tendrá en cuenta la carga transmitida al terreno por la zapata de uno de los pilares más desfavorables: 1002.85 kN en la tipología de torre y 455.85 kN en la tipología de bloque lineal.

El coeficiente de seguridad al hundimiento calculado a largo plazo es $5,02 > 3$ en el caso de la torre y 4.46 en el bloque lineal, lo que cumple con la normativa actual, siempre más restrictiva que la contemporánea a la construcción del edificio.

Comprobaciones ELS

Las comprobaciones de estado límite de servicio se recogen en el apartado 4.2.2.2 del CTE-DB-SE-C. En el caso de estructuras isostáticas el valor límite de distorsión angular es de 1/300. Se han calculado los asentos de cada zapata, los asentos inducidos por las demás zapatas y las distorsiones angulares entre ellas, pudiendo concluir que se encuentran dentro de los límites fijados.

Comprobación de estructura

Pilares

Al no tener datos de la armadura de los pilares, se han realizado comprobaciones conservadoras, donde se ha supuesto que los pilares están sometidos a compresión centrada y el posible efecto de flexión del pilar se contempla mediante una amplificación del axil, tal como contemplan el CEB-78 (1978) o la Norma ACI 318-99 (1999) –que propone un factor $1/0.8 = 1.25$ –. Esta simplificación es razonable en la mayor parte de pilares interiores, que en caso de cargas gravitatorias experimentan muy poca flexión.

Se han realizado dos comprobaciones de un pilar de planta baja: una, de acuerdo con la normativa existente en la época en que se diseñó el edificio; y otra, de acuerdo con la normativa actual. Podemos resumir los resultados indicando que el coeficiente de aprovechamiento de acuerdo con la normativa de la época es de 0.934; y de acuerdo con la normativa actual, de 0.724. Ambos inferiores a la unidad y, por tanto, aceptables.

Comprobación de elementos horizontales

Al no tener datos de la armadura de las vigas y viguetas, no es posible realizar una comprobación numérica de estas. Se han incluido en el trabajo modelos de comprobación a flexión para realizar en el supuesto de que existiesen datos acerca del armado.

Comprobación del muro de fábrica de ladrillo

Se realizan en este apartado las comprobaciones del muro de fábrica teniendo en cuenta los datos ya estimados anteriormente relativos a su resistencia a compresión. Se trata de un muro de fábrica de ladrillo macizo aparejado con mortero de cemento y espesor de pie y medio (0,39 cm). Tras realizar la estimación de cargas, se ha comprobado el muro mediante los modelos de cálculo aportados en el *Manual de inspección técnica de edificios*, obteniéndose en la base del muro una tensión normal de 0,40 N/mm². Dicho valor es compatible con los cálculos de estimación de resistencia de la fábrica de ladrillo con un coeficiente de seguridad comprendido entre 1,5 y 1,81.

Caracterización de la seguridad de la estructura

La estructura se ha estudiado de acuerdo con el Código Técnico de la Edificación y la norma UNE 41805.

En las visitas de inspección no se han encontrado lesiones importantes. Además, del estudio de la documentación disponible y tras las inspecciones, se ha concluido que el edificio está diseñado acorde a las reglas de buena construcción de la época.

El CTE-DB-SE, en su anejo D «Evaluación estructural de edificios existentes», define las bases y los procedimientos para la evaluación estructural de edificios existentes. Indica que dicha evaluación se realizará, normalmente, mediante una verificación cuantitativa de su capacidad portante y, en su caso, de su aptitud al servicio. También deja abierta la posibilidad de una verificación cualitativa en edificios en los que no resulte posible o sea poco fiable una verificación cuantitativa, o cuando el edificio haya demostrado un comportamiento satisfactorio en el pasado.



En el caso que nos ocupa, no se han realizado los ensayos necesarios para caracterizar adecuadamente la estructura y entendemos que se cumplen las condiciones requeridas para una evaluación de forma cualitativa siguiendo los criterios del apartado D.6 del citado anejo.

Es importante recordar que la evaluación cualitativa de la capacidad portante de un edificio existente puede ser insuficiente para situaciones de dimensionado extraordinarias. En el caso que nos ocupa, de la evaluación realizada y complementada con algunas comprobaciones cuantitativas que se incluyen en el apartado anterior, se ha extraído la conclusión de que el edificio tiene una capacidad portante adecuada.

No obstante, se recomienda realizar en el futuro un seguimiento del estado del edificio que podrá efectuarse siguiendo el modelo expuesto en este trabajo con inspecciones visuales y ensayos no destructivos. Este procedimiento será adecuado mientras no aparezcan lesiones más importantes.

Conclusiones finales y propuesta de intervención

Con carácter general se han realizado estudios y trabajos encaminados a construir una metodología y pautas de estudio que permitan la evaluación y análisis de la estructura y cimentación de un edificio del Movimiento Moderno como los inmuebles que constituyen la barriada de Nuestra Señora del Carmen de Sevilla.

Los estudios realizados, que en conjunto constituyen la metodología a aplicar, quedan resumidos en los apartados anteriores y de ellos se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- De la planimetría elaborada, que define la estructura y cimentación de los edificios (planos de forjados y de cimientos con los detalles correspondientes), se puede deducir que es una estructura y cimentación realizada conforme a la buena práctica constructiva y normativa existente en el momento de su construcción.
- De la inspección y los ensayos no destructivos realizados, se concluye que la estructura y cimentación no ha sufrido ningún tipo de reforma desde su construcción y que el estado de conservación de la estructura y la cimentación, tanto de los bloques en altura como de los bloques lineales, es bastante bueno. Las únicas lesiones detectadas de manera muy puntual en los bloques lineales son fisuras compatibles con un inicio de

oxidación en armaduras en vigas situadas al exterior en zonas comunes. En consecuencia, una reparación de dichas lesiones y un mantenimiento e inspección periódica es adecuado y suficiente.

- Por otra parte, del análisis de la documentación disponible, contrastada con las visitas de inspección del edificio y tras realizar algunas comprobaciones conservadoras, puede concluirse que el edificio tiene una capacidad portante adecuada, teniendo en cuenta que el estudio se ha realizado de manera somera, con una campaña de ensayos de caracterización de la estructura muy reducida y empleando criterios cualitativos. Por todo ello, se recomienda realizar en el futuro un seguimiento del estado del edificio consistente en visitas de inspección bianuales que, con la ayuda de la documentación recopilada en el presente documento y siguiendo la metodología propuesta, puedan permitir comprobar la inexistencia de nuevas lesiones.

Bibliografía

CEB-78 (1978): *Sistema Internacional de Reglamentación Técnica Unificada de Estructuras*, París, Comité Euro-Internacional del Hormigón.

HUETE FUERTE, R. *et al.* (2005): *Protocolo de Inspección Técnica de Edificios*, Colegio Oficial de Arquitectos de Sevilla - Fundación FIDAS, Sevilla, 2005.

JIMÉNEZ MONTOYA, P.; GARCÍA MESEGUER, A. y MORÁN CABRÉ, F. (1991): *Hormigón armado*, tomo I, Barcelona, Gustavo Gili, 13ª edición.

Norma ACI 381-99 (1999): *Código de Diseño de Hormigón Armado*, American Concrete Institute.

REDONDO LÁZARO, R. (1992): *Informe sobre el estado estructural de «Los Diez Mandamientos»*, febrero 1992, Sevilla (con ensayos realizados por Vorsevi).

REDONDO LÁZARO, R. y TAVIEL DE ANDRADE, E. (1995): *Proyecto de reparación de los bloques 1-2-9-10 de la barriada «Los Diez Mandamientos»*, Sevilla.